



ผลของแผ่นดินไหวที่มีต่อศักยภาพในการเกิดเหลวในจังหวัดพะเยา

EARTHQUAKE EFFECT TO LIQUEFACTION POTENTIAL IN PHAYAO PROVINCE

ภัทรมน วงศ์ราษฎร์¹ อภิชาติ บัวกล้า^{2*} ธนกร ชมภูรัตน์³ และ ปรีดา ไชยมหาวัน⁴

¹อดีตนิสิตปริญญาโท ²อาจารย์ ³รองศาสตราจารย์ และ ⁴ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

*Corresponding author: apichat_bk@hotmail.com

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของการเกิดแผ่นดินไหวต่อโอกาสการเกิดเหลวในพื้นที่ จ.พะเยา ซึ่งเป็นแผ่นดินไหวขนาด $6.3M_w$ เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 มีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ที่ ต.ดงมะดะ อ.แม่ลาว จ.เชียงราย โดยตรวจวัดค่าความเร่งพื้นดินสูงสุดที่สถานีพะเยา มีขนาดเท่ากับ 0.6772 m/s^2 งานวิจัยนี้วิเคราะห์ผลจากข้อมูลการสำรวจดิน จำนวน 15 หลุมเจาะ ด้วยสูตรของ Seed and Idriss (1971) และสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) จากข้อมูลการสำรวจดินในเขตเมืองพะเยาจำนวน 5 หลุมเจาะ ผลการวิเคราะห์ด้วยสูตรของ Seed and Idriss (1971) ค่า FS อยู่ในช่วง 2.96-6.03 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) ค่า FS อยู่ในช่วง 2.60-5.30 ส่วนข้อมูลการสำรวจดินในเขตมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 10 หลุมเจาะ ผลการวิเคราะห์ด้วยสูตรของ Seed and Idriss (1971) ค่า FS อยู่ในช่วง 2.02-13.06 และเมื่อวิเคราะห์ด้วยสูตรของ Idriss and Boulanger (2008) ค่า FS อยู่ในช่วง 2.60-20.56 ทั้งสองสูตรมีค่าสัดส่วนความปลอดภัยเพียงพอต่อการต้านทานการเกิดเหลว จากการศึกษาความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว (P_L) เปรียบเทียบ สูตรของ Seed and Idriss (1971) อยู่ที่ 5.03% และสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) อยู่ที่ 2.30% ซึ่งหมายถึงมีความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหลวในพื้นที่ จ.พะเยา และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง P_L กับ FS จะพบว่าแนวโน้มของความน่าจะเป็นสอดคล้องกับค่าสัดส่วนความปลอดภัย คือสัดส่วนความปลอดภัยสูงโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวน้อย

คำสำคัญ: การเกิดเหลว, รอยเลื่อนพะเยา, การวิเคราะห์อย่างง่าย, สัดส่วนความปลอดภัย, ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the earthquake effect to liquefaction potential in Phayao Province, measuring $6.3 M_w$, on May 5th, 2014 in Dongmada, Mae Laos, Chiang Rai. The PGA was recorded for 0.6772 m/s^2 at Phayao monitoring stations. The study uses simplified method by Seed and Idriss (1971) and revised edition by Idriss and Boulanger (2008). The analyzation considered by results of 15 boring logs in the area of high building and Phayao's ancient remains. The research concluded that in Muang Phayao District zone with 5 boring logs by Seed and Idriss (1971) result showed the range of the factor of safety is 2.96-

Pattaramon wongrat¹ Apichat Buakla^{2*} Thankorn Chompoorat³ and Preeda Chaimahawan⁴

¹Former master student, ²Lecturer, ³Associate Professor and ⁴Assistant Professor

Department of Civil Engineering, School of engineering, University of Phayao

6.03, Idriss and Boulanger (2008) is 2.60-5.30. In University of Phayao zone with 10 boring logs by Seed and Idriss (1971) result showed the range of the factor of safety is 2.02-13.06, Idriss and Boulanger (2008) is 2.60-20.56 both area has sufficient FS for resistance of the liquefaction. The probabilistic of liquefaction in Phayao, P_L shows as 5.03% with Seed and Idriss (1971) and 2.30% with Idriss and Boulanger (2008). Liquefaction would not be occurred in both zones which are in the range of almost certain. When we plot the graph to compare FS with P_L , the factor of safety is high which reflects low probability.

KEYWORDS: liquefaction, Phayao fault line, simplified method, safety factor, probabilistic liquefaction potential

1. บทนำ

แผ่นดินไหวเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติเกิดจากการที่เปลือกโลกเคลื่อนที่ และพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลโดยการปลดปล่อยพลังงานที่สะสมออกมาอย่างรวดเร็วในรูปคลื่น การเกิดแผ่นดินไหวในประเทศไทยไม่ใช่เรื่องใหม่ หรือเรื่องไกลตัว เพราะประเทศไทยมีรอยเลื่อนของเปลือกโลกที่มีพลังอยู่ถึง 14 รอยเลื่อน และเคยปรากฏเหตุแผ่นดินไหวตั้งแต่ขนาดเล็กที่ไม่ทำให้คนรับรู้ ขนาดปานกลางที่รับรู้แรงสั่นสะเทือนได้บ้าง ไปจนถึงขนาดใหญ่ที่สร้างความเสียหายให้สิ่งปลูกสร้างได้ โดยเฉพาะภาคเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีรอยเลื่อนมีพลังอยู่หลายจุด ทำให้ในแต่ละปีมีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นในภาคเหนืออยู่หลายครั้ง จากสถิติกองเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา พบว่าภาคเหนือเกิดแผ่นดินไหวบ่อยที่สุดใน จ.เชียงใหม่ ตามมาด้วย จ.เชียงราย จ.แม่ฮ่องสอน จ.ตาก จ.ลำพูน และ จ.พะเยา ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งใหญ่เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ขนาด 6.3M_w มีจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวอยู่ที่ ต.ดงมะดะ อ.แม่ลาว จ.เชียงราย แผ่นดินไหวครั้งนี้เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของรอยเลื่อนพะเยาส่วนเหนือ เป็นแผ่นดินไหวตื้นลึกลงไปใต้ดินเพียง 6 กิโลเมตร มีแผ่นดินไหวตามมากว่า 730 ครั้ง โดยแรงสั่นสะเทือนทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคาร บ้านเรือน ถนน ในระยะ 30 กิโลเมตรจากจุดศูนย์กลางหลายแห่ง แผ่นดินไหวครั้งนี้ยังพบปรากฏการณ์การเกิดเหลว (Liquefaction) เป็นบริเวณกว้างหลายพื้นที่ แต่โชคดีที่เกิดขึ้นบริเวณรอบนอกห่างไกลบ้านเรือนจึงไม่ส่งผลเสียหายมากนัก ซึ่ง จ.พะเยา อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหวเพียง 47 กิโลเมตร จึงเป็นจังหวัดหนึ่งที่ถูกจัดอยู่ในพื้นที่เสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินไหวเนื่องจากมีรอยเลื่อนพะเยาพาดผ่าน [1-2]

จ.พะเยา ดังรูปที่ 1a เป็นเมืองเก่าแก่เมืองหนึ่งแห่งล้านนาไทย ตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เป็นจังหวัดที่มีความสงบร่มเย็น ภูมิอากาศดี เป็นแหล่งผลิตผลิตพืชผลทางการเกษตร มีแหล่งท่องเที่ยวหลากหลายทั้งด้านธรรมชาติ ประวัติศาสตร์ และวัฒนธรรม มีการเติบโตของเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง จากที่มีการจัดตั้งมหาวิทยาลัยพะเยา ดังรูปที่ 1b รวมทั้งศูนย์การแพทย์และโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนและการฝึกปฏิบัติงานวิชาชีพของนิสิตหลักสูตรสาขาวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ รวมทั้งเป็นศูนย์บริการด้านสุขภาพและการรักษาพยาบาล อนาคตมีเป้าหมายให้เป็นศูนย์กลางการให้บริการทางการแพทย์และการสาธารณสุขประจำภูมิภาคล้านนาตะวันออก ส่งผลทำให้เริ่มมีการก่อสร้างอาคารสูงจำนวนมาก อาทิ อาคารเรียน หอพัก และโรงแรม อีกทั้งนโยบายที่ส่งเสริมให้ จ.พะเยา เป็นจุดเชื่อมโยงในการจัดส่งสินค้า และยกระดับจุดผ่อนปรนการค้าบ้านฮวก เป็นจุดผ่านแดนถาวร เพื่อเสริมสร้างความสัมพันธ์อันดีระหว่างราชอาณาจักรไทย กับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และอำนวยความสะดวกในการคมนาคมขนส่ง รวมทั้งการสนับสนุนการเชื่อมโยงการท่องเที่ยว การค้า การลงทุน การขนส่ง การแลกเปลี่ยนด้านศิลปวัฒนธรรมและการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างชาติพันธุ์ในกลุ่มประเทศอนุภูมิภาคกลุ่มแม่น้ำโขง รวมไปถึงการลงทุนก่อสร้างเส้นทางคมนาคมในเมืองคอบ แขวงไชยบุรี ทำให้มีความต้องการเครื่องจักรวัสดุก่อสร้าง น้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงสินค้าอุปโภคบริโภค ส่งผลดีต่อการค้าขายแดนของจังหวัดอย่างมาก [3]



a อำเภอเมืองพะเยา



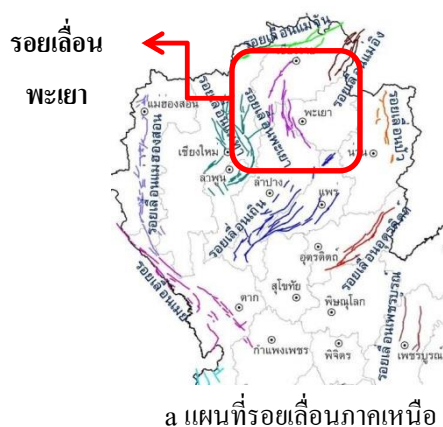
b มหาวิทยาลัยพะเยา

รูปที่ 1 จังหวัดพะเยา (ที่มา: มหาวิทยาลัยพะเยา)

คั้งนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของแผ่นดินไหวที่มีต่อโอกาสในการเกิดเหลว จ.พะเยา เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นและการเตรียมตัวที่ดีในการป้องกันอันตรายอันเกิดจากแผ่นดินไหว โดยงานวิจัยนี้จะทำการหาสัดส่วนความปลอดภัย (Factor of safety, FS) สำหรับด้านการเกิดเหลวของ จ.พะเยา จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว จ.เชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 ขนาดแผ่นดินไหว $6.3M_w$ ค่าความเร่งพื้นดินสูงสุดตรวจวัดได้ที่สถานีพะเยา มีขนาดเท่ากับ $0.6772 m/s^2$ ($0.06772 g$) โดยใช้วิธีในการวิเคราะห์อย่างง่าย สูตรของ Seed and Idriss (1971) เปรียบเทียบ สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) และหาความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว โดย Liao et.al (1988) นำผลการวิเคราะห์มาวาดกราฟเทียบกับค่าสัดส่วนความปลอดภัยและสร้างเส้นแนวโน้มของข้อมูลการเกิดเหลวของ จ.พะเยา

2. กลุ่มรอยเลื่อนพะเยา

รอยเลื่อนพะเยา ดังรูปที่ 2a [4] ประกอบด้วยรอยเลื่อนย่อยมากกว่า 17 รอยเลื่อน กระจายตัวต่อเนื่องกันในแนวเหนือ-ใต้ รวมระยะทางประมาณ 90 กิโลเมตร พาดผ่านพื้นที่ จ.เชียงราย จ.พะเยา และ จ.ลำปาง เช่น รอยเลื่อนพะเยา รอยเลื่อนแม่ลาว รอยเลื่อนพาน รอยเลื่อนวังเหนือ รอยเลื่อนแม่สรวย เป็นต้น



a แผนที่รอยเลื่อนภาคเหนือ



b แผนที่รอยเลื่อนพาดผ่าน จ.พะเยา

รูปที่ 2 รอยเลื่อนพะเยา (ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี)

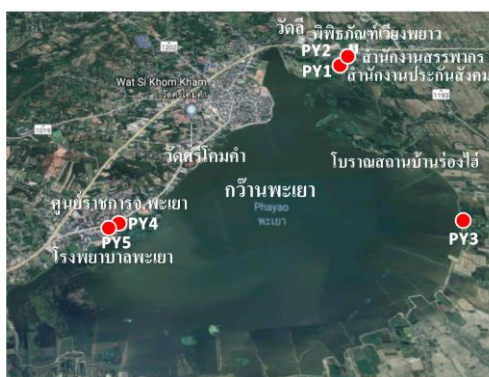
รอยเลื่อนพะเยาจะมีแนวรอยแยกแบ่งออกเป็นสองส่วนอย่างชัดเจน คือ รอยเลื่อนพะเยาส่วนใต้ และรอยเลื่อนพะเยาส่วนเหนือ โดยรอยเลื่อนส่วนใต้มีการวางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้ ก่อนมาทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งอยู่บริเวณด้านทิศตะวันตกของกว๊านพะเยาอยู่บริเวณเขตรอยต่อระหว่าง อ.พาน จ.เชียงราย อ.เมือง จ.พะเยา และอ.วังเหนือ จ.ลำปาง มีความยาวประมาณ 35 กิโลเมตร รอยเลื่อนส่วนเหนือมีการวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ พาดผ่าน อ.เมือง อ.แม่ลาว และอ.แม่สรวย จ.เชียงราย มีแนวการเคลื่อนตัวในแนวราบแบบเหลื่อมซ้าย ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ จ.เชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2557 สำหรับ อ.เมือง จ.พะเยา เป็นพื้นที่ที่มีรอยเลื่อนพะเยาพาดผ่าน แสดงดังรูปที่ 2b ซึ่งรอยเลื่อนนี้ต่อเนื่องมาจาก อ.จาว จ.ลำปาง ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ทางด้านทิศเหนือของรอยเลื่อนท่าลี่ มีความยาวประมาณ 23 กิโลเมตร อีกทั้งยังมีกลุ่มรอยเลื่อนเถินและรอยเลื่อนแม่ยมอยู่ใกล้เคียง ซึ่งเหล่านี้เป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง จึงทำให้ อ.เมือง จ.พะเยา มีความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหว

3. ข้อมูลชั้นดินของ จ.พะเยา

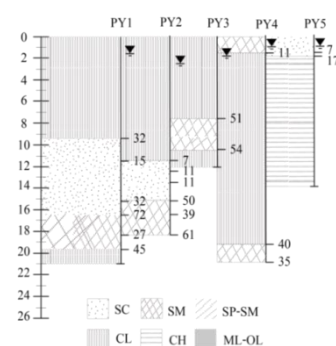
จ.พะเยา มีลักษณะทั่วไปเป็นที่ราบสูงล้อมรอบไปด้วยเทือกเขา ทั้งด้านตะวันออก ตะวันตก ใต้ และตอนกลางของจังหวัด เทือกเขาเหล่านี้จะทอดตัวเป็นแนวยาวจากเหนือลงใต้ อ.เมืองพะเยามีกว๊านพะเยา ทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่ อยู่ใจกลางเมือง ทางด้านทิศตะวันตก ซึ่งกว๊านพะเยาเป็นทะเลสาบน้ำจืดใหญ่เป็นอันดับ 1 ในภาคเหนือ และ อันดับ 4 ของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 12,831 ไร่ จากการสำรวจและเก็บข้อมูลชั้นดินของ จ.พะเยา ใช้การทดสอบด้วยวิธีการตอกทดลองมาตรฐาน (Standard Penetration Test, *SPT*) ได้เลือกศึกษาในพื้นที่ที่มีการก่อสร้างอาคารสูง และแหล่งโบราณสถานที่สำคัญ รวมทั้งการกำหนดของดินตะกอนทางธรณีวิทยา ในบริเวณที่แตกต่างกันออกไป จำนวน 15 หลุมเจาะ ทำการวิเคราะห์โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ เขตอ.เมืองพะเยา และเขตมหาวิทยาลัยพะเยา

3.1 เขต อ.เมืองพะเยา

จากการเจาะสำรวจดินในเขตอ.เมืองพะเยา จำนวน 5 หลุมเจาะ พื้นที่บริเวณนี้เป็นเขตชุมชนที่ตั้งล้อมรอบกว๊านพะเยา มีอาคาร บ้านเรือน จำนวนมาก ศูนย์ราชการ โรงพยาบาลพะเยา โรงเรียนประถมและมัธยมประจำจังหวัด เป็นต้น รวมทั้งเป็นที่ตั้งแหล่งโบราณสถานที่สำคัญหลายแห่ง ดังรูปที่ 3a พิจารณาเฉพาะชั้นดินทรายส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียวปนทราย (SC) สลับชั้นกับดินทรายปนทรายแป้ง (SM) ลักษณะดินเป็นดินทรายแน่นสลับชั้นดินทรายแน่นปานกลาง บางชั้นมีดินทรายหยาบสลับชั้นด้วย และหลุมเจาะทั้งหมดพบชั้นทรายอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ ค่า *SPT* โดยเฉลี่ยของชั้นทรายประมาณ 7-50 ดังรูปที่ 3b



a แผนที่ตำแหน่งหลุมเจาะ

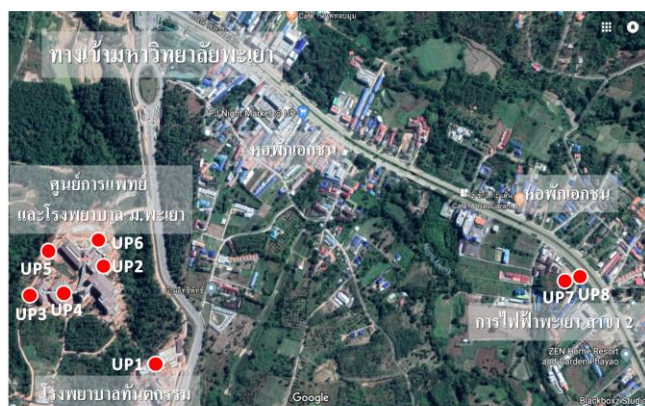


b ระดับความลึกและชนิดของดินของหลุมเจาะ

รูปที่ 3 เขต อ.เมืองพะเยา

3.2 เขตมหาวิทยาลัยพะเยา

จากผลการเจาะสำรวจดินในเขตมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 10 หลุมเจาะ แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนด้านหน้ามหาวิทยาลัย ดังรูปที่ 4a เป็นที่ตั้งของ อาคาร หอพัก โรงแรม มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย รวมทั้งศูนย์การแพทย์และโรงพยาบาล มหาวิทยาลัยพะเยา ซึ่งมีอาคารในการจัดการเรียนการสอนและการฝึกปฏิบัติงานวิชาชีพของนิสิตหลักสูตรสาขาวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ รวมทั้งเป็นศูนย์บริการด้านสุขภาพและการรักษาพยาบาลบุคลากร นิสิตและประชาชน จ.พะเยา พิจารณาเฉพาะ ชั้นดินทราย ซึ่งดินทรายในบริเวณนี้ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยชั้นของดินทรายปนทรายแป้ง (SM) และปะปนกับดินเหนียวปนทราย (SC) เล็กน้อยลักษณะดินเป็นดินทรายแน่นสลับชั้นดินทรายแน่นปานกลาง ระดับน้ำใต้ดินที่พบส่วนใหญ่อยู่ก่อนข้างลึกมากกว่า 4 เมตร อาจเนื่องจากการทำการเจาะสำรวจดินในช่วงฤดูแล้ง ความชื้นต่ำ ค่า SPT โดยเฉลี่ยของชั้นทรายประมาณ 15-85 ส่วนที่สองคือ บริเวณด้านในของมหาวิทยาลัย ดังรูปที่ 4b ซึ่งประกอบไปด้วย อาคารบริหาร อาคารหอประชุม อาคารเรียน อาคารปฏิบัติการต่างๆ และ อาคารหอพักนักศึกษา พิจารณาเฉพาะชั้นดินทราย ซึ่งดินทรายในบริเวณนี้ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยชั้นดินทรายปนทรายแป้ง (SM) และปะปนกับชั้นทรายปนกรวด (SP) ลักษณะดินเป็นดินทรายแน่นสลับชั้นดินทรายแน่นปานกลาง พบชั้นมีดินทรายหลวม สลับชั้นด้วยในบริเวณอ่างเก็บน้ำ ค่า SPT โดยเฉลี่ยของชั้นทรายประมาณ 2-50 ดังรูปที่ 5

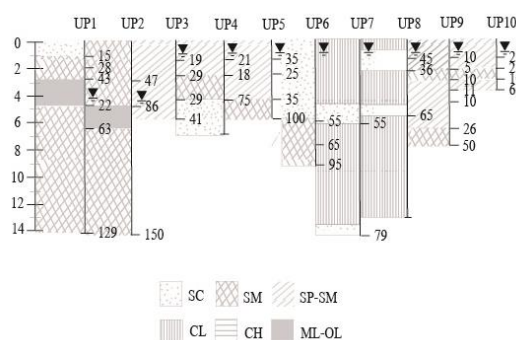


a บริเวณศูนย์การแพทย์และโรงพยาบาล



b บริเวณภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

รูปที่ 4 แผนที่ตำแหน่งหลุมเจาะ เขตมหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5 ระดับความลึกและชนิดของดินของหลุมเจาะ เขตมหาวิทยาลัยพะเยา

4. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย (FS) ด้านการเกิดเหลว เริ่มต้นจากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความเค้นวัฏจักร (Cyclic stress ratio, CSR) และ อัตราส่วนแรงต้านทานวัฏจักร (Cyclic resistance ratio, CRR) ดังแสดงในสมการที่ (1) โดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ค่าความเค้นรวม (Total stress, σ_{v0}) ค่าความเค้นประสิทธิผล (Effective stress, σ'_{v0}) ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนความเค้น (Stress reduction coefficient, r_d) และอัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดิน (Peak ground acceleration, a_{max}) โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดิน รูปร่าง และขนาดการเกิดแผ่นดินไหว [5-14]

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

ถ้า $FS < 1$ แสดงให้เห็นถึงการต้านทานการเกิดเหลวน้อยโอกาสการเกิดเหลวจึงสูง แต่ในทางกลับกันถ้า $FS \geq 1$ การต้านทานการเกิดเหลวสูงจึงยากที่จะเกิดปรากฏการณ์เหลว

4.1 การประมาณค่าสัดส่วนความปลอดภัยด้านการเกิดเหลวของ Seed and Idriss (1971)

4.1.1 อัตราส่วนความเค้นวัฏจักร (CSR) เป็นการคำนวณค่าแรงกระทำสูงสุดของแผ่นดินไหวที่กระทำต่อชั้นดิน ณ จุดที่พิจารณาซึ่งสามารถหาได้ดังสมการนี้

$$CSR = \frac{\tau}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{g} \right) r_d \quad (2)$$

เมื่อ a_{max} คือ อัตราเร่งสูงสุดที่ผิวดินตามแนวราบ (m/s) σ_{v0} คือ ค่าความเค้นรวม (t/m^2) σ'_{v0} คือ ค่าความเค้นประสิทธิผล (t/m^2) r_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนความเค้น สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{1.000 - 0.4177z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2} \quad (3)$$

เมื่อ z คือ ความลึกจากผิวดินจนถึงจุดที่พิจารณา (m)

4.1.2 อัตราส่วนแรงต้านทานวัฏจักร (CRR) เป็นค่าความสามารถในการต้านทานการเกิดเหลวของชั้นดินซึ่งจะหาได้จากทดสอบในสนาม (งานวิจัยนี้กล่าวถึงตัวแปรจากการทดสอบ SPT) ซึ่งค่า CRR สามารถหาได้จากสมการที่ (4) นั้นจะพิจารณาที่แผ่นดินไหวขนาดเท่ากับ $7.5M_w$ สำหรับกรณีที่ค่าแผ่นดินไหวมีขนาดไม่เท่ากับ $7.5M_w$ ก็ต้องทำการปรับแก้ค่าก่อนการคำนวณต่อไป

$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF \times K_\sigma \quad (4)$$

ค่า $CRR_{7.5}$ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์กับค่าการปรับแก้จำนวนครั้งในการตอก $(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S$ โดย N_m คือ ค่า $SPT \left(\frac{N}{ft} \right) P_a$ คือ ค่าความดันบรรยากาศ C_E, C_B, C_R, C_S คือ ค่าปรับแก้อื่นๆ เกี่ยวกับลักษณะชั้นตอน และเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง สามารถดูเพิ่มเติมได้จาก [15]

$$C_N \text{ คือ ค่าปรับแก้ความเค้นดินด้านบน (Overburden stress) สามารถหาได้สมการดังนี้ } C_N = \frac{2.2}{\left(1.2 + \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)}$$

ค่าปรับแก้เนื่องจากขนาดของแผ่นดินไหว (MSF) กรณีที่ขนาดไม่เท่ากับ $7.5M_w$ จำนวนได้จากสมการดังนี้

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$$

ค่าปรับแก้เนื่องจากผลของความเค้นโดยรอบ (K_σ) ซึ่งแตกต่างกันไปตามความแน่นของทราย จำนวนได้จากสมการ

$$K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{(f-1)} \text{ โดย } f \text{ คือ ค่าแรงเสียดทานในชั้นดินที่พิจารณา}$$

4.2 การประมาณค่าสัดส่วนความปลอดภัยด้านการเกิดผลของ Idriss and Boulanger (2008)

สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) [16-17] ได้ปรับปรุงการหาค่าอัตราส่วนแรงต้านทานวัฏจักร (CRR) ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ การปรับแก้ค่า SPT กับทรายสะอาด $(N_1)_{60cs}$ ซึ่งหาได้จากสมการที่ (5)

$$CRR_{7.5} = \exp \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right) \quad (5)$$

โดยค่าอัตราส่วนความเค้นวัฏจักร (CSR) ยังคงใช้สมการเดิม ดังสมการที่ (2) และสามารถคำนวณหาค่า r_d ได้ดังนี้

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M); \alpha(z) = -1.212 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right);$$

$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right)$ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่า $(N_1)_{60cs} \left(\frac{N}{ft} \right)$ สามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}; \Delta(N_1)_{60} = \exp \left(1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01} \right)^2 \right) \text{ โดย } FC \text{ (fines content)}$$

คือ เปอร์เซ็นต์ความละเอียดของดิน

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 1.7 \quad (6)$$

ค่า MSF และค่าปรับแก้เนื่องจากผลของความเค้นโดยรอบ K_σ สามารถหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M_w}{4}\right) - 0.058 \leq 1.8 \quad (7)$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) \leq 1.1 \quad (8)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \leq 0.3 \quad (9)$$

4.3 ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว

การวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว (Probabilistic Approach) [18-19] เพื่อใช้ในการประเมินหาโอกาสความน่าจะเป็นของการเกิดเหลวในชั้นดิน โดยวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนความเค้นวัฏจักร และค่าปรับแก้ของจำนวนครั้งในการตอก *SPT* จากการเจาะสำรวจชั้นดิน ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลวสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$P_L = \frac{1}{1 + \exp\left[-(\beta_0 + \beta_1 \ln(CSR) + \beta_2 (N_1)_{60})\right]} \quad (10)$$

โดยที่ P_L คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดเหลว CSR คือ อัตราส่วนความเค้นวัฏจักรหรือแรงกระทำของแผ่นดินไหวต่อชั้นดิน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) $(N_1)_{60}$ คือ ค่าปรับแก้ของจำนวนครั้งในการตอกจากการทดสอบตอกทดลองมาตรฐาน (N/ft) โดย $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ คือ ค่าคงที่ แตกต่างกันไปตามสภาพของดินแต่ละประเภทจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวในอดีตจากการนำเสนอของ Seed et al. (1983) ใช้ค่าดังนี้ ประเภททรายสะอาด (Clean sand) ค่าแนะนำอยู่ที่ 16.447 6.4603 และ -0.3976 ประเภททรายแป้ง (Silty sand) ค่าแนะนำอยู่ที่ 6.4831 2.6854 และ -0.1819 เพื่อให้ง่ายในการสรุปผลให้เข้าใจตรงกันในการคำนวณหาความน่าจะเป็นของการเกิดปรากฏการณ์เหลว Chen and Juang (2000) จึงได้แบ่งกลุ่มนำเสนอออกเป็นประเภทความน่าจะเป็นของการเกิดปรากฏการณ์เหลว ได้ดังนี้ ประเภทที่ 1 ($P_L < 15$) หมายถึง มีความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหลว ประเภทที่ 2 ($15 \leq P_L \leq 65$) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวเพียงเล็กน้อย ประเภทที่ 3 ($35 \leq P_L \leq 65$) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวมีโอกาสเป็น 50% ประเภทที่ 4 ($65 \leq P_L \leq 85$) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวล่อน้างสูง และประเภทที่ 5 ($P_L > 85$) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวสูงมาก

5. ผลการวิเคราะห์

จากเหตุการณ์แผ่นดินไหว จ.เชียงราย เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 เมื่อนำผลการเจาะสำรวจดินไปวิเคราะห์สัดส่วนความปลอดภัยสำหรับการเกิดเหลว (FS) ที่ขนาดแผ่นดินไหว $6.3M_w$ ค่าความเร่งพื้นดินสูงสุดตรวจวัดได้ที่สถานีพะเยา $0.6772 m/s^2$ ($0.6772g$) จำนวน 15 หลุมเจาะ พิจารณาเฉพาะชั้นดินทราย จำนวน 54 ชั้น ช่วงระดับความลึกที่พิจารณาอยู่ที่ 1.45-14.00 เมตร โดยแบ่งพื้นที่ในการวิเคราะห์ออกเป็น 2 เขต คือ เขตเมืองพะเยา และเขตมหาวิทยาลัยพะเยา ได้ผลดังนี้

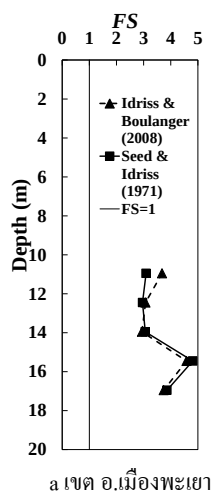
5.1 การวิเคราะห์หาสัดส่วนความปลอดภัยสำหรับการเกิดเหลว

5.1.1 เขตพื้นที่ อ.เมืองพะเยา

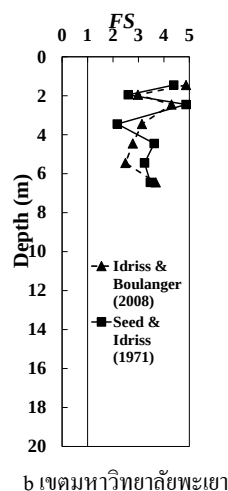
ผลการเจาะสำรวจดินในเขตเมืองพะเยาจำนวน 5 หลุมเจาะ จากการประเมินหาสัดส่วนความปลอดภัยสำหรับการเกิดเหลว ผลการวิเคราะห์สูตรของ Seed and Idriss (1971) ค่า FS เฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 2.96-6.03 สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) ค่า FS อยู่ในช่วง 2.60-5.30 เนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมาก ขอยกตัวอย่างกรณีผลการเจาะสำรวจดินในเขต อ.เมืองพะเยา หลุมที่ 2 (PY2) ซึ่งเป็นหลุมเจาะบริเวณ ต.แม่คำ อยู่ราบลุ่มน้ำริมกว๊านพะเยาฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ เป็นที่ตั้งของอาคารสำนักงานสรรพากร สำนักงานประกันสังคม บ้านพักผู้ว่าราชการ อีกทั้งอยู่ใกล้กับพระธาตุเจดีย์วัดลีและพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพะเยา หลุมที่ 2 (PY2) ตำแหน่งหลุมเจาะแสดงดังรูปที่ 5 ลักษณะเป็นชั้นทรายดินทรายแน่นปานกลางและดินทรายค่อนข้างหยาบ จากการวิเคราะห์ทุกชั้นดินมี FS เพียงพอต่อการต้านการเกิดเหลว สามารถแสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระดับความลึกแสดงดังรูปที่ 6a จะพบว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองสูตรมีค่าสัดส่วนความปลอดภัยเพียงพอต่อการต้านทานการเกิดเหลวและแสดงผล FS ที่ใกล้เคียงกัน สามารถศึกษาผลการวิเคราะห์หลุมเจาะอื่นๆ เพิ่มเติมจากเอกสารอ้างอิง [15]

5.1.2 เขตพื้นที่ เขตมหาวิทยาลัยพะเยา

ผลการเจาะสำรวจดินในเขตมหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 10 หลุมเจาะ จากการประเมินหาสัดส่วนความปลอดภัยสำหรับการเกิดเหลว ผลการวิเคราะห์สูตรของ Seed and Idriss (1971) ค่า FS เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.02-13.06 สูตรของ Idriss and Boulanger (2008) ค่า FS อยู่ในช่วง 2.60-20.56 เนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมาก ขอยกตัวอย่างกรณีผลการเจาะสำรวจดินในเขตมหาวิทยาลัยพะเยา หลุมที่ 9 (UP9) ตำแหน่งหลุมเจาะแสดงดังภาพที่ 8 เป็นหลุมเจาะบริเวณภายในมหาวิทยาลัยพะเยา อยู่บริเวณเชิงเขาด้านหลังมหาวิทยาลัย เป็นที่ตั้งอ่างเก็บน้ำขนาด 20,000 m^3 หอพัก และบ้านพักบุคลากร ความสูงอาคารประมาณ 4-5 ชั้น ลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นชั้นทรายขนาดละเอียด ทรายเป็นกรวดปนทรายแข็ง เป็นชั้นทรายหยาบถึงแน่นปานกลาง จากการวิเคราะห์ทุกชั้นดินมี FS เพียงพอต่อการต้านการเกิดเหลว สามารถแสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับระดับความลึกแสดงดังรูปที่ 6b จะพบว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองสูตรมีค่าสัดส่วนความปลอดภัยเพียงพอต่อการต้านทานการเกิดเหลวและแสดงผล FS ที่ใกล้เคียงกัน สูตรของ Seed and Idriss (1971) แสดงผลสูงกว่าเล็กน้อย สามารถศึกษาผลการวิเคราะห์หลุมเจาะอื่นๆ เพิ่มเติมจากเอกสารอ้างอิง [15]



a เขต อ.เมืองพะเยา



b เขตมหาวิทยาลัยพะเยา

รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ FS เทียบกับ ระดับความลึก

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ด้วยสูตรของ Seed and Idriss (1971) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) พบว่ากรณีลักษณะดินที่เป็นชั้นดินทรายหวมถึงแน่นปานกลาง ทั้ง 2 สูตรแสดงผลค่า FS ใกล้เคียงกัน โดย Seed and Idriss (1971) แสดงผลค่า FS สูงกว่าเล็กน้อย แต่ในกรณีดินเป็นชั้นดินทรายแน่นถึงแน่นมาก สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) จะแสดงผลค่า FS สูงมากกว่า จากผลการเจาะสำรวจดินได้ค่า SPT ที่ค่อนข้างน้อยลักษณะเป็นชั้นทรายหวมถึงแน่นปานกลางหลายจุด ถึงแม้เหตุการณ์แผ่นดินไหวครั้งนี้จะไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจาก จ.พะเยาอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว

5.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว

ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว (P_L) เป็นการประมาณความเป็นไปได้ของชั้นดินทรายว่ามีโอกาสเกิดเหลวขึ้นมากน้อยเพียงใด ความน่าจะเป็นมีค่าตั้งแต่ 0 คือโอกาส 0% หรือจะไม่เกิดขึ้น ไปจนถึง 100 คือโอกาส 100% หรือจะเกิดเหลวขึ้นในชั้นดินทรายแน่นอน โดยการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลวมักใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ค่า CSR หรือแรงแผ่นดินที่กระทำต่อชั้นดิน ซึ่งจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับระยะทางของการเกิดแผ่นดินไหวกับชั้นดินที่พิจารณา รวมไปถึงการพิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักของดินทรายแต่ละประเภท โดยใช้วิธีการทดสอบดักทดสอบมาตรฐาน (SPT) ในการหาค่าการปรับแก้ของจำนวนครั้งในการตอกจากการทดสอบดักทดสอบมาตรฐาน (N_1)₆₀ ซึ่งการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะนำผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลวมาวาดกราฟเทียบกับค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากผลการวิเคราะห์หัวข้อที่ 5.1 ทั้งสูตรของ Seed and Idriss (1971) และสูตรของ Idriss and Boulanger (2008) จากนั้นสร้างเส้นแนวโน้มของข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาการเกิดเหลวของชั้นดินทรายของ จ.พะเยาต่อไป

5.2.1 พิจารณา CSR จากสูตรของ Seed and Idriss (1971)

ผลการวิเคราะห์ P_L ได้ผลดังนี้ ประเภทที่ 1 ($P_L < 15$) ความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหลวคิดเป็น 88.89% ของจำนวนหลุมเจาะทั้งหมดที่พิจารณา ประเภทที่ 2 ($15 \leq P_L \leq 35$) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวน้อยคิดเป็น 11.11% ของจำนวนหลุมเจาะทั้งหมดที่พิจารณา โดยค่า P_L ต่ำสุดอยู่ที่หลุม UP2 บริเวณศูนย์แพทย์มหาวิทยาลัยพะเยาที่ระดับความลึก 4.95 เมตร ซึ่งมีลักษณะดินเป็นชั้นดินทรายแน่น และค่า P_L เท่ากับ 0.02% เป็นค่าที่น้อยมากคือไม่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลว ค่า P_L สูงสุดอยู่ที่หลุมเจาะ UP9 ซึ่งอยู่บริเวณอ่างเก็บน้ำ 20,000 ลูกบาศก์เมตร อาคารบ้านพักบุคลากร บนเชิงเขามหาวิทยาลัยพะเยา ลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นชั้นทรายขนาดละเอียด ทรายปนกรวดปนทรายแบ่ง P_L ที่ได้มีค่าเท่ากับ 20.73% หมายถึงมีโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวน้อย จากผลการวิเคราะห์นำมาวาดกราฟเทียบกับค่าสัดส่วนความปลอดภัยและสร้างเส้นแนวโน้มของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 7(a) พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้เป็นแสดงผลในภาพแบบสมการยกกำลังอย่างง่าย ดังสมการที่ 11 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง P_L กับ FS นี้สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาชั้นดินทรายที่มีโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการออกแบบในบริเวณนี้ต่อไป

$$P_L = 1.21(FS)^{-2.02} \quad (11)$$

วิธีวิเคราะห์นี้แสดงผล $R^2 = 0.819$ ซึ่งหมายถึงมีค่าบางข้อมูลที่แตกแยกออกจากเส้นแนวโน้ม แต่ค่าส่วนใหญ่ก็มีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าสัดส่วนความปลอดภัย คือ สัดส่วนความปลอดภัยสูงโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวต่ำ

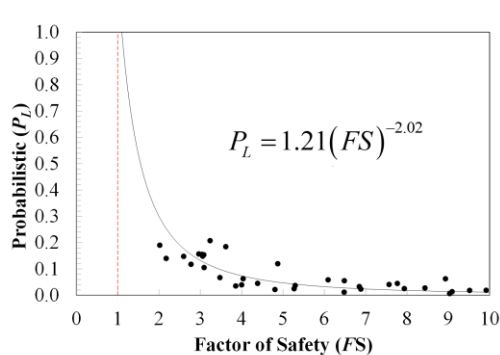
5.2.2 พิจารณาค่า CSR จากสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008)

ผลการวิเคราะห์ P_L ของสูตรนี้ได้ผลแบบเดียวคือประเภทที่ 1 ($P_L < 15$) ไม่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวโดยค่า P_L ต่ำสุดความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหลวอยู่ที่หลุม UP-2 บริเวณศูนย์แพทย์มหาวิทยาลัยพะเยาที่ระดับความลึก 4.95 เมตร ลักษณะดินเป็นชั้นดินทรายแน่น เช่นเดียวกับผลของสูตร Seed and Idriss (1971) และค่า P_L สูงสุดความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวแน่นอนอยู่ที่หลุม PY-10 บริเวณ ต.แม่คำ อ.เมือง ที่ราบลุ่มน้ำริมกว๊านพะเยาฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ ที่ระดับความลึก 13.95 เมตร อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ลักษณะดินเป็นชั้นดินทรายหลวม จากผลการวิเคราะห์นำมาวาดกราฟเทียบกับค่าสัดส่วนความปลอดภัยและสร้างเส้นแนวโน้มของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 7(b) นี้สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาชั้นดินทรายที่มีโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดเหลวเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการออกแบบในบริเวณนี้ต่อไป

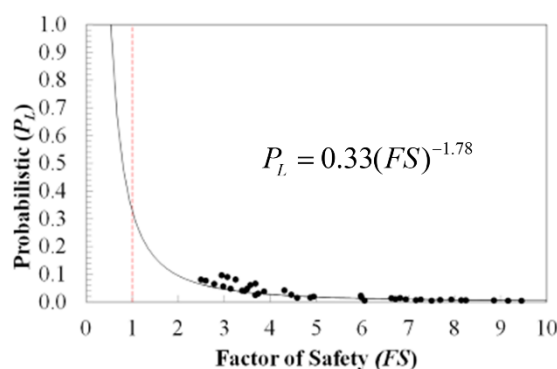
$$P_L = 0.33(FS)^{-1.78} \quad (12)$$

วิธีวิเคราะห์นี้แสดงผล $R^2 = 0.905$ ซึ่งหมายถึงมีการกระจายตัวของข้อมูลที่ค่าส่วนใหญ่สอดคล้องกับเส้นแนวโน้ม

ผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ค่า P_L จากสูตรของ Seed and Idriss (1971) จะมีค่าสูงกว่าคือมีโอกาสในการเกิดเหลวสูงกว่า และเมื่อนำมาวาดกราฟเทียบกับค่าสัดส่วนความปลอดภัยพบว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างจะจัดกระจายมากกว่าการวิเคราะห์ด้วยสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008)



a สูตรของ Seed and Idriss (1971)



b สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008)

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ P_L เทียบกับค่า FS

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลชั้นดิน เลือกศึกษาในพื้นที่แหล่งชุมชน พื้นที่ที่มีการก่อสร้างอาคารสูง และแหล่งโบราณสถานที่สำคัญ แบ่งพื้นที่การศึกษาออกเป็นเขตเมืองพะเยา และเขตมหาวิทยาลัยพะเยา วิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยและความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว สรุปผลการศึกษาดังนี้

6.1 วิธีในการวิเคราะห์อย่างง่าย สูตรของ Seed and Idriss (1971) เปรียบเทียบกับ สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) มีค่าสัดส่วนความปลอดภัยค่อนข้างใกล้เคียงกันในกรณีที่เป็นทรายหลวมถึงแน่นปานกลาง แต่จะมีค่าแตกต่างกัน

ค่อนข้างมากในกรณีที่เป็นชั้นทรายแน่น เนื่องจากสูตรปรับปรุงของ Idriss และ Boulanger (2008) มีพารามิเตอร์หลักที่ใช้พิจารณาคือค่าการปรับแก้ค่า SPT กับทรายสะอาด $(N_1)_{60cs}$ และไม่มีขีดจำกัดในการหาค่า CRR ในขณะที่สูตรของ Seed and Idriss (1971) มีพารามิเตอร์หลักที่ใช้พิจารณาคือค่าการปรับแก้ค่า SPT $(N_1)_{60}$ และมีขีดจำกัดจากกราฟความสัมพันธ์ของ CRR และ $(N_1)_{60}$ ซึ่งได้จากการบันทึกผลการเกิดเหลวในอดีต

6.2 การหาค่า FS ของทั้งสองสูตรมีลักษณะเดียวกันคือ นอกจากค่า SPT แล้ว ระดับความลึกของชั้นดินที่พิจารณา และ ค่า FS จะส่งผลโดยตรงต่อโอกาสที่จะเกิดเหลวอย่างมาก กรณีที่ค่า SPT เท่ากันในระดับความลึกต่างๆ กันจะทำให้ค่า FS แตกต่างกันด้วย โดยระดับชั้นดินทรายที่อยู่ลึกกว่าจะแสดงผล FS ที่ต่ำกว่า รวมไปถึงกรณีที่ค่า SPT ที่สูงกว่าก็มีผลให้ FS ที่สูงกว่าอีกด้วย เนื่องจากถ้า ค่า FS สูงแสดงถึงลักษณะดินจะมีความละเอียดสูงจะแสดงพฤติกรรมของดินที่มีแรงเชื่อมแน่นแทนส่งผลให้ดินมีความแน่นมากขึ้น

6.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว P_L เล็กๆ ด้วยสูตรของ Seed and Idriss (1971) อยู่ที่ 5.03% คือมีความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหลว ส่วนสูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) อยู่ที่ 2.30% คือมีความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหลวเช่นกันพบว่าทั้งสองสูตรให้ผลที่ใกล้เคียงกัน คือไม่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวในพื้นที่ จากการวิเคราะห์สูตรปรับปรุงของ Idriss and Boulanger (2008) แสดงการกระจายตัวของข้อมูลที่ตีค่าส่วนใหญ่สอดคล้องกับเส้นแนวโน้มและสอดคล้องกับค่าสัดส่วนความปลอดภัย โดยสัดส่วนความปลอดภัยสูงโอกาสความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหลวต่ำ ส่วนการวิเคราะห์สูตรปรับปรุงของ Seed and Idriss (1971) แสดงการกระจายตัวของข้อมูลน้อยกว่าสูตรแรก แต่เส้นแนวโน้มยังสอดคล้องกับค่าสัดส่วนความปลอดภัย

6.4 จากการวาดกราฟระหว่าง P_L กับ FS พบว่าความสัมพันธ์ที่ได้เป็นแบบสมการยกกำลังอย่างง่าย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง P_L กับ FS สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาชั้นดินทรายที่มีโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดเหลว เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบงานฐานรากและวางแผนในงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนใน จ.พะเยาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยพะเยาที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย และผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จ.พะเยา และบริษัทเอ็นเจเนียร์รี่ ดีไซน์ คอนซัลแตนท์ จำกัด สำหรับผลข้อมูลจะสำรวจชั้นดินของ จ.พะเยา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา. สถิติข้อมูลแผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2559, จาก <http://www.earthquake.tmd.go.th/earthquakestat.html>
- [2] สำนักเฝ้าระวังแผ่นดินไหว กรมอุตุนิยมวิทยา. รายงานแผ่นดินไหวบริเวณจังหวัดเชียงราย, จากเอกสารวิชาการเลขที่ 550.341-01-2014, 2557.
- [3] วิทิพย์ สารานุกรมเสรี, 7 สิงหาคม 2557. จังหวัดพะเยา. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2562, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/จังหวัดพะเยา>
- [4] สุนทรเมธ จิตรมหันตกุล. รอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย. (ธันวาคม 2556). สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2562, จาก <http://www.geothai.net/thailand>
- [5] Seed, H. B. and Idriss, I. M. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *J. Soil Mechanics And Foundations Div.*, 1971. ASCE 97(SM9), 1249–1273
- [6] จิตนันท์ ทาวีละนันท์ และเศรษฐพงศ์ เศรษฐบุปผา. เงื่อนไขในการเกิดสภาวะดินเหลวและทรายพุ ที่บ้านทุ่งฟ้าผ่า อ.แม่สรวย จ.เชียงราย ในเหตุการณ์แผ่นดินไหว วันที่ 5 พฤษภาคม 2557. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 21. สงขลา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย., (28-30 มิถุนายน 2559).

- [7] บุญชัย อุกฤษฏ์ และรัชชัช สังขะวิไล. การวิเคราะห์โอกาสการเกิด Liquefaction สำหรับชั้นทรายกรุงเทพฯ ชั้นแรก. ใน *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9*. เพชรบุรี: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (19-21 พฤษภาคม 2547).
- [8] ภัทรมน วงศ์ราษฎร์ ธเนศ ทองเดชศรี ธนกร ชมภูรัตน์ และ ปรีดา ไชยมหาวัน. การศึกษาผลของแผ่นดินไหวที่มีต่อโอกาสการเกิดลิกวิแฟชันของจังหวัดพะเยา. ใน *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 21*. จ.สงขลา : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (28-30 มิถุนายน 2559).
- [9] Mase L. Z., Likitlersuang, S. and Tobita, T. "Non-linear Site Response Analysis of Soil Sites in Northern Thailand during the Mw 6.8 Tarlay Earthquake" *Engineering Journal*, 2018, Vol. 22, No. 3, pp. 291-303, May 2018. DOI:10.4186/
- [10] Mase L. Z., Likitlersuang, S. and Tobita, T. "Analysis of seismic ground response caused during strong earthquake in Northern Thailand" *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, 2018, Vol. 114, November 2018, pp. 113-126. DOI: 10.1016/j.soildyn.2018.07.006
- [11] Mase L. Z., Likitlersuang, S. and Tobita, T. "Cyclic Behaviour and Liquefaction Resistance of Izumio Sands in Osaka, Japan" *Marine Georesources and Geotechnology*, 2019, Vol. 37, No. 7, pp. 765 – 774. DOI:10.1080/1064119X.2018.1485793
- [12] Likitlersuang, S., Plengsiri, P., Mase, L. Z. and Tanapalungkorn, W. "Influence of spatial variability of ground on seismic response analysis: a case study of Bangkok subsoils" *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2019, (Online) DOI:10.1007/s10064-019-01560-9
- [13] Soksana, T., Likitlersuang, S. and Pipatpongsa, T. "Monotonic and Cyclic Behavior of Chiang Mai Sand under Simple Shear Mode", *Geotechnical and Geological Engineering*, 2013, Vol. 31, No. 1, pp 67 – 82. DOI:10.1007/s10706-012-9563-9
- [14] วีระเดช ธนพลังกร. โอกาสเกิดทรายเหลวเนื่องจากแผ่นดินไหวในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ., 2557.
- [15] ภัทรมน วงศ์ราษฎร์. ผลของแผ่นดินไหวที่มีต่อโอกาสในการเกิดลิกวิแฟชันและกราฟสเปกตรัมตอบสนอง ของจังหวัดพะเยา. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา., 2562.
- [16] Idriss, I. M. and Boulanger R. W. Soil liquefaction during earthquakes, California: *Earthquake Engineering Research Institute* Oakland., 2008.
- [17] Idriss, I. M. and Boulanger, R. W. SPT-BASED Liquefaction Triggering. California: *Department of Civil & Environmental Engineering college of Engineering*, University of California at Davis, 2010.
- [18] สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และเจษฎา พิ้องอักษร. Probabilistic Analysis of Liquefaction Potential: The First Eyewitness Case In Thailand. ใน *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 18*. (8-10 พฤษภาคม 2556), เชียงใหม่: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- [19] Samson, S. C. Liao., Daniele, Veneziano., and Robert, V. Whitman. *Regression models for evaluating liquefaction probability*. J.Geotech. Eng, 1988, 389-411.

